Sterowanie Procesami Ciągłymi
Laboratoria
29.11.2021

Sprawozdanie 3
Układy automatycznej regulacji

Autor
Mikołaj Zapotoczny
(252939)

Prowadzący
mgr inż. Paweł Mielcarek

1 Zapis warunku stabilności UAR

Mamy obiekt o trasmitancji:

$$K_O(s) = \frac{1}{(s+1)^3}$$

oraz pobudzenie:

$$u(t) = 1(t)$$

Aby uzyskać warunki stabilności należy badać położenie pierwiastków równania charakterystycznego mianownika zamkniętego układu regulacji. Taki układ jest stabilny gdy na płaszczyźnie zespolonej jego pierwiastki leżą w lewej półpłaszczyźnie.

Można to zbadać, np. za pomocą kryterium Hurwitza.

Poza tym kryterium muszą być spełnione jeszcze dwa warunki konieczne, ale nie wystarczające, tzn: wszystkie współczynniki mianownika muszą mieć ten sam znak, oraz muszą być różne od zera.

1.1 Dla regulatora typu P

Mamy więc:

$$K_{UAR}(s) = \frac{k}{s^3 + 3s^2 + 3s + 1 + k}$$

Kryterium Hurwitza:

$$K_{UAR}(s) = \frac{k}{s^3 + 3s^2 + 3s + 1 + k}$$

$$1 + k > 0$$
$$k > -1$$

$$\Delta_1 = 3 > 0$$

$$\begin{bmatrix} 3 & 1 & 0 \\ 1+k & 3 & 0 \\ 0 & 3 & 1 \end{bmatrix}$$

$$\Delta_2 = \begin{vmatrix} 3 & 1 \\ 1+k & 3 \end{vmatrix} > 0 \quad \text{dla } k < 8$$

$$\begin{vmatrix} 3 & 1 \\ 1+k & 3 \end{vmatrix} = 9 - 1 - k = 8 - k$$

$$8 - k > 0$$
$$8 > k$$

$$\Delta_3 = 1 \cdot \Delta_2 > 0 \quad \text{dla } k < 8$$

$$k \in (-1 ; 8)$$

1.2 Dla regulatora typu PI

Mamy więc:

$$K_{UAR}(s) = \frac{k_1 s + k_2}{s^4 + 3s^3 + 3s^2 + (1 + k_1)s + k_2}$$

Kryterium Hurwitza:

$$K_{UAR}(s) = \frac{k_1 + \frac{k_2}{s}}{s^3 + 3s^2 + 3s + k_1 + 1 + \frac{k_2}{s}} \cdot \frac{s}{s} =$$

$$= \frac{k_1 s + k_2}{s^4 + 3s^3 + 3s^2 + (k_1 + 1)s + k_2}$$

$k_1 + 1 > 0$

$k_1 > -1$

$k_2 > 0$

$$\begin{bmatrix} k_1+1 & 3 & 0 & 0 \\ k_2 & 3 & 1 & 0 \\ 0 & k_1+1 & 3 & 0 \\ 0 & k_2 & 3 & 1 \end{bmatrix}$$

$\Delta_1 = k_1 + 1 > 0$

$k_1 > -1$

$\Delta_2 = 3k_1 + 3 - 3k_2$

$\Delta_3 = -k_1^2 + 7k_1 + 8 - 9k_2$

$\Delta_4 = 1 \cdot \Delta_3$

$$\begin{cases} 3k_1 + 3 - 3k_2 > 0 \quad /:3 \\ -k_1^2 + 7k_1 + 8 - 9k_2 > 0 \end{cases}$$

$\Rightarrow k_1 + 1 - k_2 > 0$

$k_1 + 1 > k_2$

$$\Downarrow$$

$$\begin{cases} -k_1^2 + 7k_1 + 8 > 9k_2 \\ k_1 + 1 > k_2 \end{cases}$$

$$\boxed{-k_1^2 + 8k_1 + 9 > 10k_2}$$

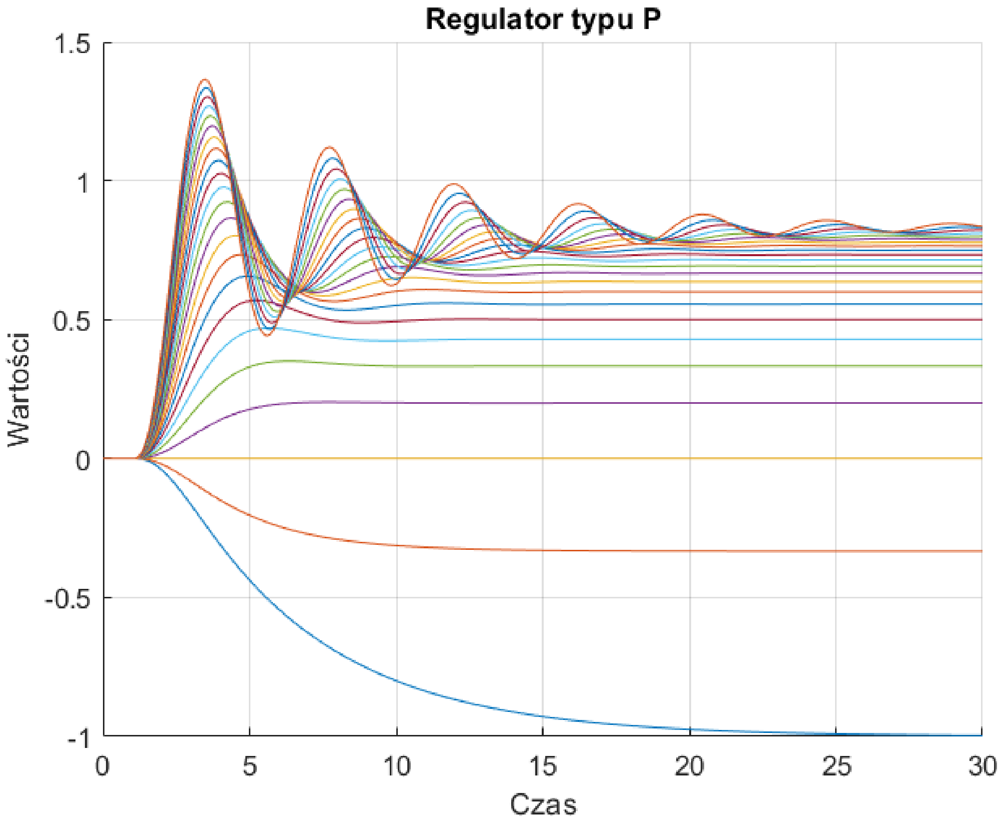
$k_1 > -1$

$k_2 > 0$

Tutaj otrzymujemy warunek, do którego musimy dopasowywać nasze nastawy.

2 Regulator P

Nastawy P: -0.5:0.25:5



Widzimy, że regulator typu P dla nastaw z dziedziny stabilizuje układ regulacji na różnych poziomach. Im większa jest nastawa P tym większy jest stan ustalony na wyjściu.

Widzimy, że dla ujemnych nastaw nie ma oscylacji, a tylko dążenie do ujemnego stanu ustalonego. Dla dodatnich nastaw widzimy narastające oscylacje.

3 Jak zależy ε_{ust} od k_p

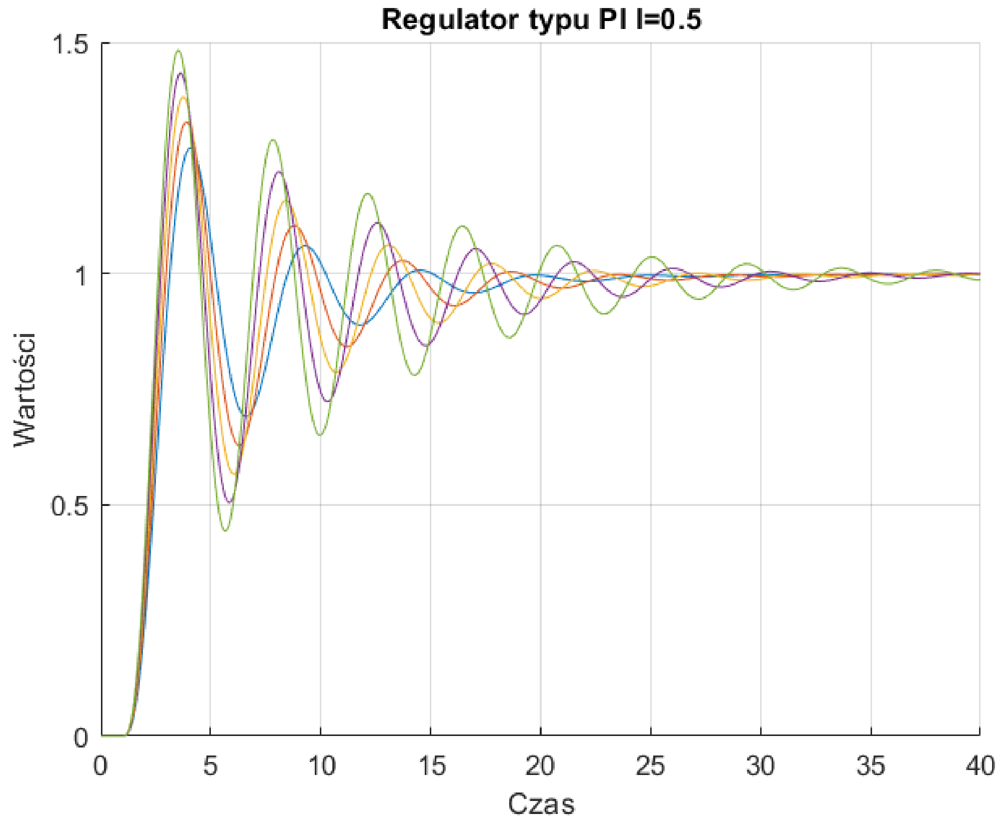
Regulator typu P ma niezerowy uchyb ustalony, ale tylko gdy układ jest stabilny.

$$\varepsilon_{ust} = \frac{1}{1 + k_p k_o}$$

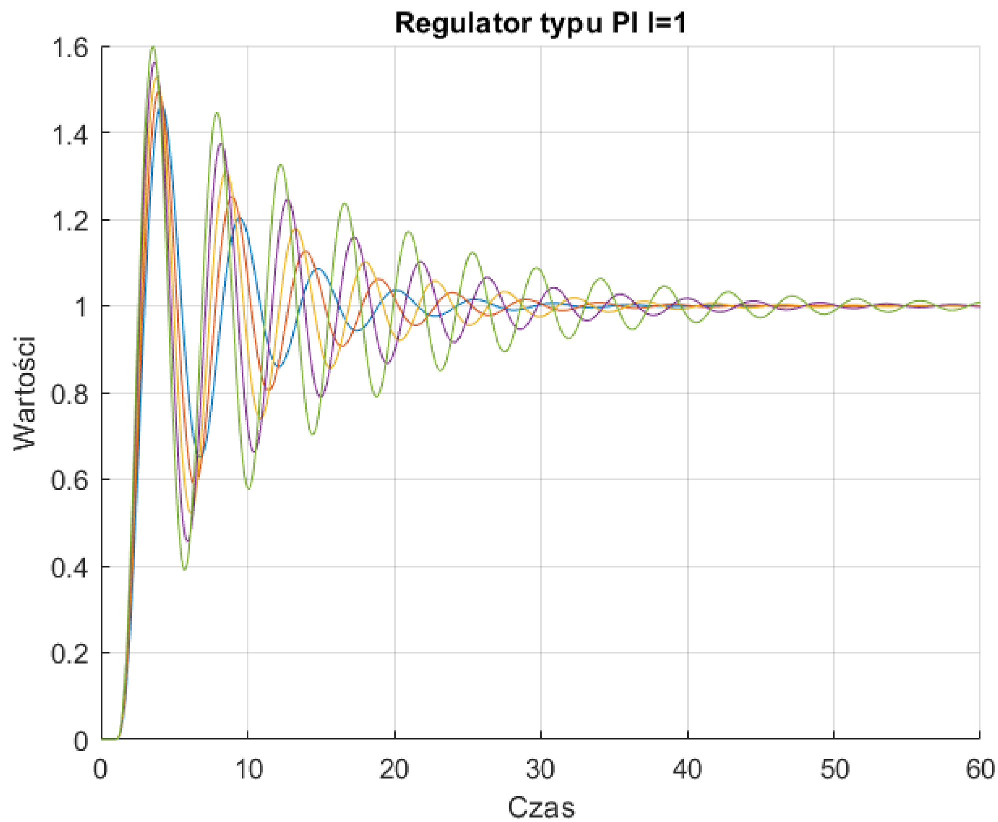
Im większe jest wzmocnienie regulatora tym uchyb jest mniejszy.

4 Regulator PI

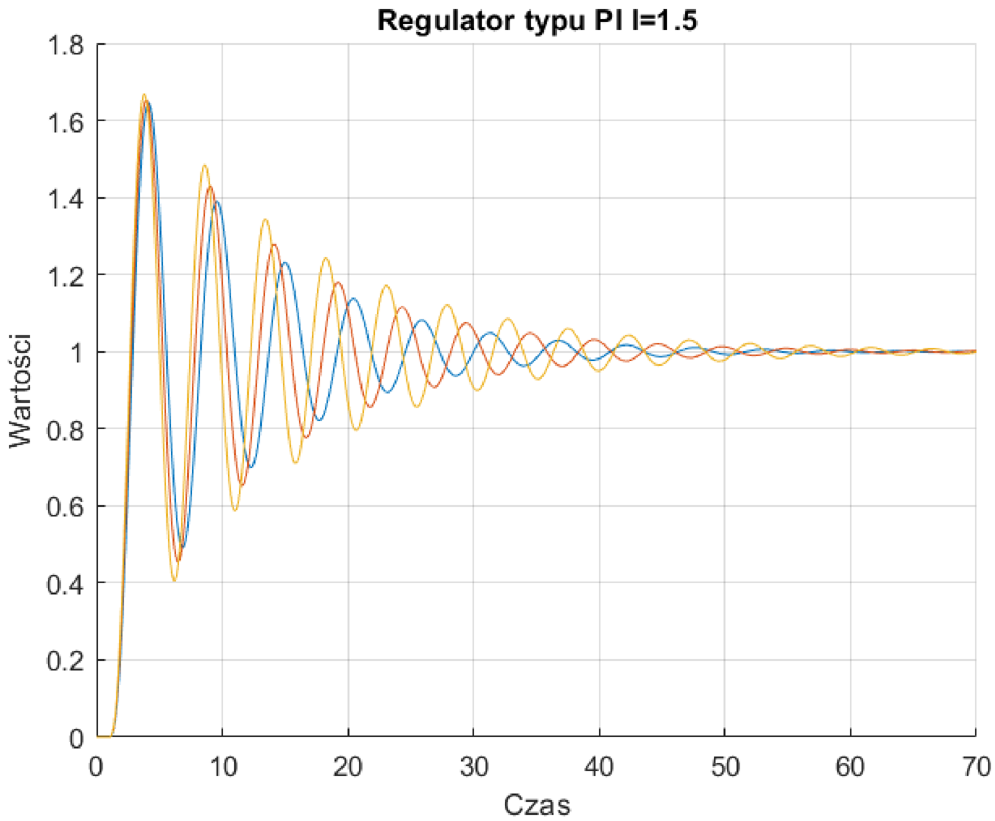
P = 3:0.5:5



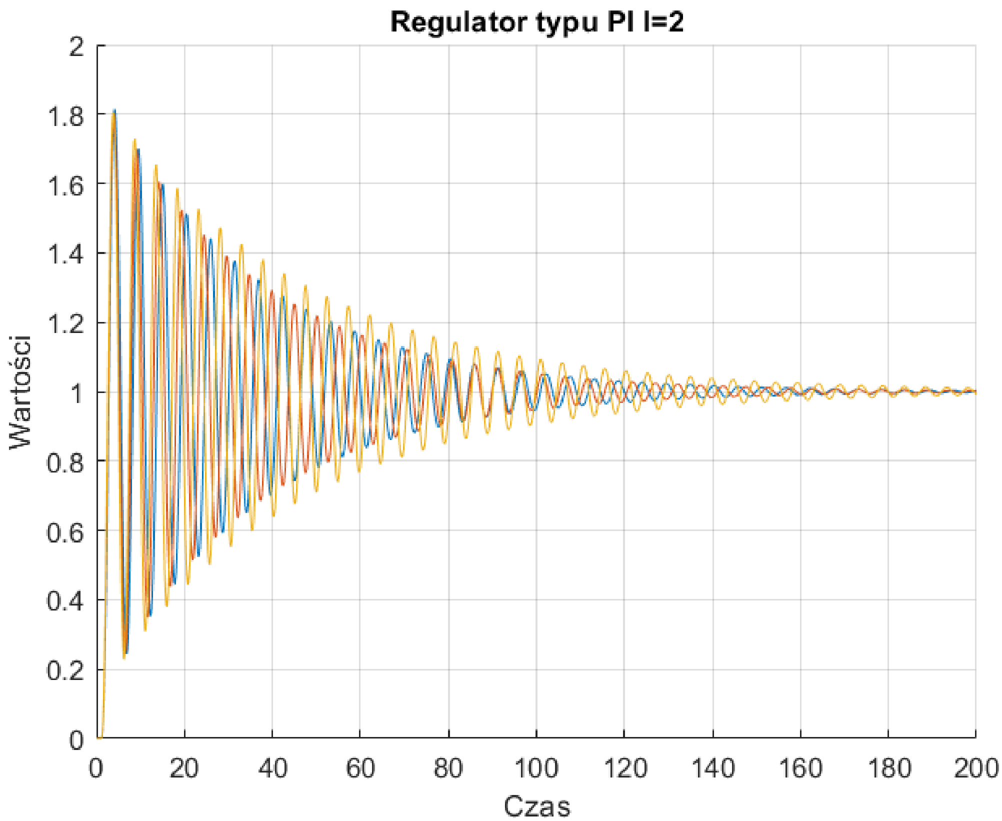
P = 3:0.5:5



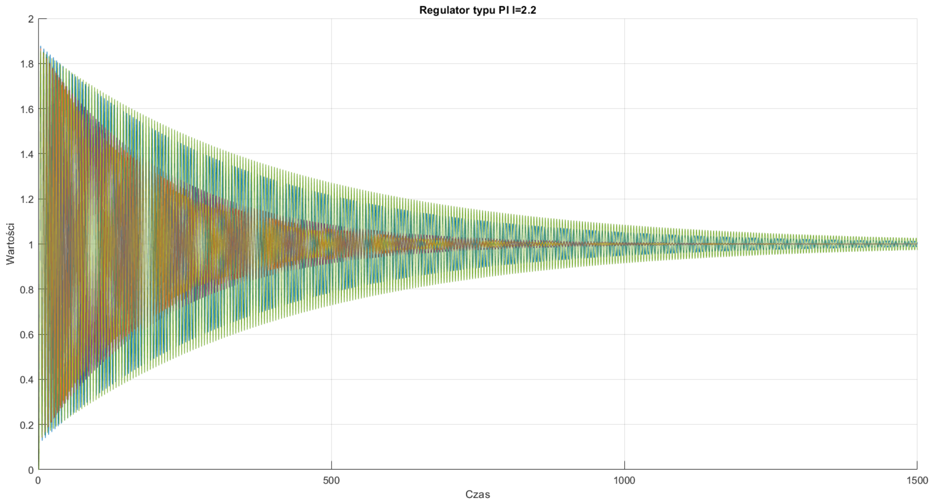
P = 3:0.5:4


Regulator typu PI I=1.5
Wartości
Czas
1.8
1.6
1.4
1.2
1
0.8
0.6
0.4
0.2
0
10
20
30
40
50
60
70

P = 3:0.5:4


Regulator typu PI I=2
Wartości
Czas
2
1.8
1.6
1.4
1.2
1
0.8
0.6
0.4
0.2
0
20
40
60
80
100
120
140
160
180
200

P = 3:0.25:4



W regulatorze PI trudniej jest dobrać parametry tak, aby był układ stabilny ze względu na skomplikowane warunki z macierzy Hurwitza.

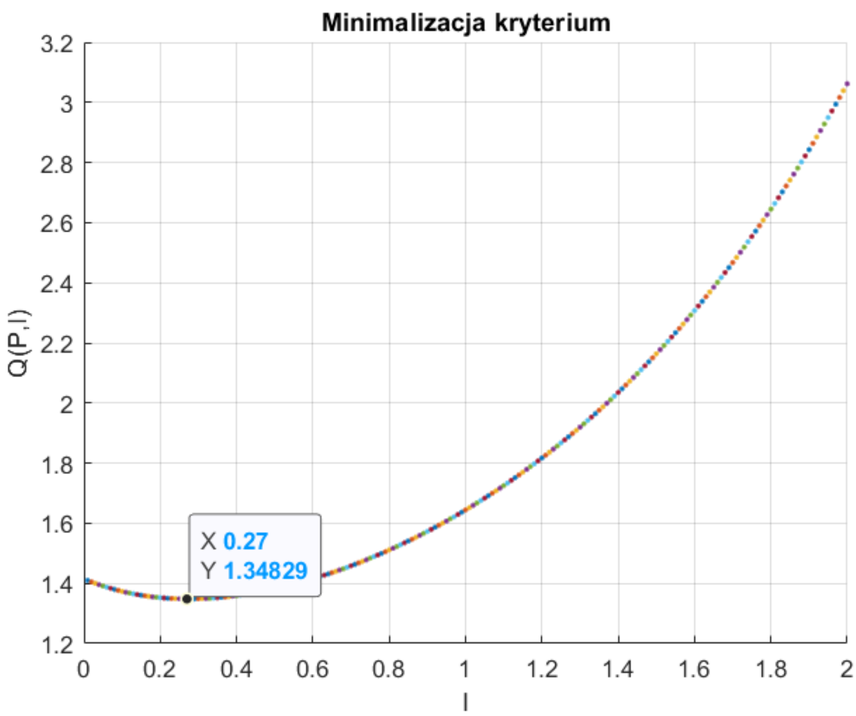
Można zaobserwować, że wraz z wzrostem nastawy regulatora I wydłużał się czas stabilizowania systemu.

5 Minimalizacja kryterium

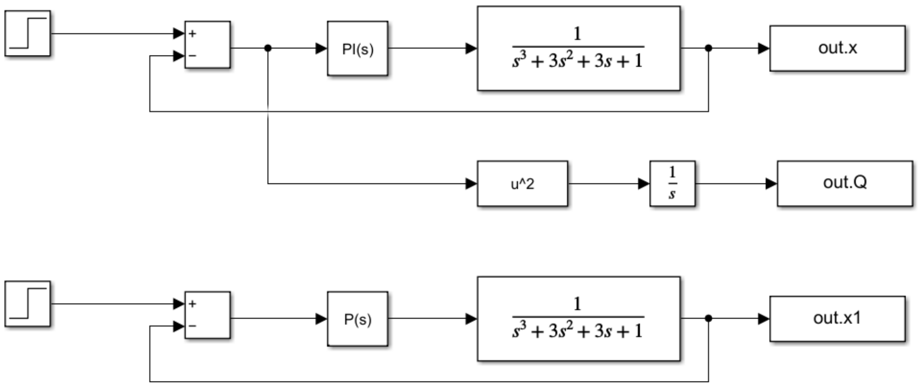
Aby zminimalizować dane kryterium najpierw potrzebujemy wartości samego uchybu. Można ją uzyskać z miejsca wskazanego na schemacie.

Po wykonaniu na naszej wartości operacji matematycznych wynikających z kryterium mamy pojedynczą wartość. Musimy mieć jak najwięcej tych wartości stąd tak częste wykonywanie się pętli w skrypcie.

Gdy już mamy wykres to wystarczy odnaleźć najmniejszą wartość.



6 Schemat



7 Skrypt Matlab'a

```
clear all;
close all;

I=0;
for P = -0.5:0.25:5
sim('schemat',30)

figure(1);
hold on;
grid on;

plot(ans.tout, ans.x1);
end
xlabel("Czas");
ylabel("Wartosci");
title('Regulator typu P')

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

I=0.5;
for P = 3:0.5:5
sim('schemat',40)

figure(2);
hold on;
grid on;

plot(ans.tout, ans.x);
end
xlabel("Czas");
ylabel("Wartosci");
title('Regulator typu PI I=0.5')

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

I=1;
for P = 3:0.5:5
```

```
sim('schemat',60)

figure(3);
hold on;
grid on;

plot(ans.tout, ans.x);
end
xlabel("Czas");
ylabel("Wartosci");
title('Regulator typu PI I=1')

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

I=1.5;
for P = 3:0.5:4
sim('schemat',70)

figure(4);
hold on;
grid on;

plot(ans.tout, ans.x);
end
xlabel("Czas");
ylabel("Wartosci");
title('Regulator typu PI I=1.5')

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

I=2;
for P = 3:0.5:4
sim('schemat',200)

figure(5);
hold on;
grid on;

plot(ans.tout, ans.x);
end
xlabel("Czas");
ylabel("Wartosci");
title('Regulator typu PI I=2')

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

I=2.2;
for P = 3:0.25:4
sim('schemat',1500)

figure(6);
hold on;
grid on;

plot(ans.tout, ans.x);
```

```
end
xlabel("Czas");
ylabel("Wartosci");
title('Regulator typu PI I=2.2')

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%minimalizacja kryterium

P = 4;

figure(7);
hold on;
grid on;

for i = 0.01:0.01:2
I = i;
sim('schemat.slx');
plot(I, ans.Q(end), '.');
end

title('Minimalizacja kryterium');
xlabel('I');
ylabel('Q(P,I)');
```